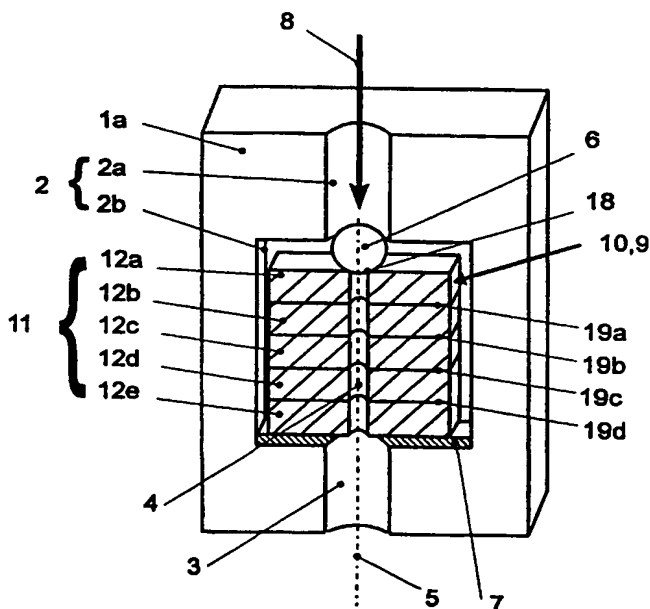


<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :</b> <b>F16K 31/00</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 99/15820</b> <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 1. April 1999 (01.04.99)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/EP98/05966 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 18. September 1998 (18.09.98) <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 197 41 816.3 23. September 1997 (23.09.97) DE <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> INSTITUT FÜR MIKROTECHNIK MAINZ GMBH [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 18-20, D-55129 Mainz (DE). <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> SCHOTH, Andreas [DE/DE]; Richardstrasse 109, D-12043 Berlin (DE). KÄMPER, Klaus-Peter [DE/DE]; Eichenstrasse 18 b, D-52159 Roetgen (DE). OBERBECK, Sebastian [DE/DE]; Dianaburgstrasse 19, D-35753 Greifenstrasse (DE). <b>(74) Gemeinsamer Vertreter:</b> INSTITUT FÜR MIKROTECHNIK MAINZ GMBH; Carl-Zeiss-Strasse 18-20, D-55129 Mainz (DE).		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
<b>(54) Title:</b> MICRO-VALVE <b>(54) Bezeichnung:</b> MIKROVENTIL <b>(57) Abstract</b> <p>The invention relates to a micro-valve which is compact in structure, requires little energy, and yet works reliably and has considerable switching dynamics. The inventive micro-valve comprises a two-part housing (1a, 1b) wherein the dividing wall (9) is formed by an actuation device (10) consisting of a stack (11) of piezoelectric layers (12a-e). A valve opening (4) which is closed in the neutral position by a valve ball (6) is arranged in said piezoelectric stack (11). The actuating device can be displaced in the direction of the longitudinal axis (5) of the valve opening (4) and moves the valve ball (6) towards the flow of fluid (8), into the inlet channel (2a) in order to open the valve. Once the piezoelectric stack (11) has contracted, the ball (6) is moved back to the valve seat by the flow of fluid (8). A piezoelectric disk can be used instead of a piezoelectric stack.</p> <b>(57) Zusammenfassung</b> <p>Es wird ein Mikroventil beschrieben, das bei kompakter Bauweise und geringem Energiebedarf zuverlässig arbeitet und eine grosse Schaltdynamik aufweist. In einem zweiteiligen Gehäuse (1a, 1b) wird die Trennwand (9) durch eine Betätigungseinrichtung (10) aus einem Stapel (11) piezoelektrischer Schichten (12a-e) gebildet. Im piezoelektrischen Stapel (11) ist eine Ventilöffnung (4) eingebracht, die von einer Ventilkugel (6) in Ruhestellung verschlossen wird. Die Betätigungseinrichtung ist in Richtung der Längsachse (5) der Ventilöffnung (4) auslenkbar und bewegt zum Öffnen des Ventils die Ventilkugel (6) entgegen des Fluidstroms (8) in den Einlasskanal (2a). Nach der Kontraktion des piezoelektrischen Stapels (11) wird die Kugel (6) durch den Fluidstrom (8) zum Ventilsitz (18) zurückbewegt. Anstelle eines piezoelektrischen Stapels kann auch eine piezoelektrische Scheibe verwendet werden.</p>		



### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauritanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

## Mikroventil

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Mikroventil mit zwei in einem Gehäuse angeordneten Kammern (Einlaß- und Auslaßkammer), die unterschiedlichen Druck aufweisen und durch eine Trennwand voneinander getrennt sind, einer in der Trennwand vorgesehenen Ventilöffnung, deren Rand einen Ventilsitz bildet, einen freibeweglichen Ventilkörper zum Verschließen der Ventilöffnung und einer Betätigungseinrichtung.

Ein derartiges Mikroventil ist aus der DE 38 35 788 C2 bekannt. Es handelt sich hierbei um ein schnellschaltendes Kugelventil, das eine hohe Schaltfrequenz aufweisen soll. Als Einsatzgebiet wird die Flugzeitspektroskopie in einer Molekularstrahlapparatur genannt.

Die Ventilkugel befindet sich in einer eigenen über der Ventilöffnung befindlichen Kugelkammer, in der sie ungehindert abrollen kann, wenn sie von der Betätigungseinrichtung von der Ventilöffnung seitlich weggestoßen worden ist. Die Betätigungseinrichtung besteht aus einem statischen Elektromagneten und einem in der Kugelkammer beweglichen Betätigungselement, das bei Erregung des Elektromagneten die Kugel seitlich anstößt. Der Stoß auf die Kugel erfolgt parallel zur Trennwand. Das Betätigungselement ist mit einer Rückholfeder ausgestattet, die das bolzenartige Betätigungselement nach dem Ausschalten des Elektromagneten zurückzieht.

Durch die permanente Gasströmung soll sich die Kugel wieder zur Ventilöffnung zurückbewegen und diese verschließen.

Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Kugel keine reproduzierbare Bewegung ausführt und unter Umständen nicht zur Ventilöffnung zurückfindet, wenn sie sich in einem strömungsfreien oder strömungsungünstigen Bereich der Kugelkammer befindet. Da die Kugel jedoch meist nicht auf dem kürzesten Weg zur Ventilöffnung zurückkehrt, wird keine zufriedenstellende Ventildynamik erzielt. Die relativ voluminöse Kugelkammer und die seitliche Anordnung der Betätigungseinrichtung läßt keine kompakten Abmessungen des Mikroventils zu. Ferner muß die Kugelkammer durch eine Trennwand mit mindestens zwei Öffnungen vom Einlaßkanal getrennt sein, was einen zusätzlichen konstruktiven Aufwand mit sich bringt. Die Betätigungseinrichtung benötigt einen hohen Energiebedarf und weist eine große Verlustleistung auf. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß die Montage sämtlicher Bauteile aufwendig ist.

Aus der DE 24 02 085 ist ein Ventil bekannt, das in einem Gehäuse einen mit einem Antriebsmittel verbundenen beweglichen Körper aufweist, der eine fluidische Verbindung zwischen Abführungs- und Zuführungskanälen schaltet. Als Antriebsmittel dient ein Stapel aus Schichten eines piezoelektrischen Materials.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Mikroventil zu schaffen, das bei kompakten Abmessungen und geringem Energiebedarf zuverlässig arbeitet und eine große Schaltdynamik aufweist.

Diese Aufgabe wird mit einem Mikroventil gelöst, bei dem die Betätigungseinrichtung piezoelektrisches Material aufweist und die Betätigungseinrichtung die Trennwand bildet oder in die Trennwand integriert ist, wobei die Betätigungseinrichtung die Ventilöffnung aufweist und in Richtung der Längsachse der Ventilöffnung auslenkbar ist.

Dadurch, daß die Betätigungseinrichtung die Trennwand bildet bzw. in diese integriert ist und in Strömungsrichtung auslenkbar ist, wird eine kompakte Bauweise ermöglicht.

Der Einsatz von piezoelektrischen Materialien, also eines sogenannten Piezoaktors, hat den Vorteil, daß für die Betätigung des Ventilkörpers nur eine geringe elektrische Energie notwendig ist.

Bei elektrischer Ansteuerung des piezoelektrischen Materials lenkt sich die Betätigungseinrichtung sehr schnell aus, wodurch sich aufgrund des übertragenen Impulses der Ventilkörper im Umlenkpunkt der Dehnungsphase in die Kontraktionsphase vom Ventilsitz löst und die Ventilöffnung freigibt. Dadurch wird das Ventil so lange geöffnet, bis der Ventilkörper durch die Fluidströmung wieder zum Ventilsitz zurückkehrt und auf die Ventilöffnung gepreßt wird.

Obwohl eine horizontale Einbaulage des Mikroventils möglich ist, ist die vertikale Einbaulage bevorzugt, weil der Ventilkörper bei seiner Bewegung keinerlei Reibung unterliegt, so daß die Öffnungs- und Schließzeit, also die Ventildynamik, nur durch die Breite des an das piezoelektrische Material angelegten Spannungsimpulses, dessen Amplitude sowie den anliegenden Differenzdruck bestimmt wird.

Es kommt nicht auf die Größe der Auslenkung der Betätigungseinrichtung an, sondern lediglich auf die Beschleunigung und somit auf die dem Ventilkörper vermittelte Geschwindigkeit an. Diesbezüglich ist das piezoelektrische Material einer Anordnung beispielsweise mit Elektromagneten deutlich überlegen, so daß weitaus schnellere Schaltzeiten erzielt werden können. Wenn Gas als Fluid benutzt wird, so können beispielsweise Gaspulse mit Pulsbreiten von 0,1 ms bis 10 ms realisiert werden, wobei die Schaltfrequenz bei 100 Hz bis 10 KHz liegt, was von der Art des Piezoaktors abhängt.

Um die gewünschten hohen Impulse des Ventilkörpers zu erreichen, wird die Betätigungseinrichtung nicht bis zu ihrem Maximalwert ausgelenkt, sondern nur bis zu dem Wert, der zur maximalen Geschwindigkeit gehört. Die Auslenkkurve besitzt ihre maximale Steigung im Bereich des letzten Drittels der Gesamtauslenkung.

Je nach Art der elektrischen Ansteuerung kann das Mikroventil auch als Trägheitsschalter betrieben werden.

Ist das piezoelektrische Material derart angeordnet, daß die bevorzugte Auslenkungsrichtung parallel zur Längsachse der Ventilöffnung liegt, so ist in diesem Fall die Ruhestellung die ausgelenkte Stellung der Betätigungseinrichtung. Durch schnelle Kontraktion verharrt der Ventilkörper als träge Masse in seiner Ruheposition und gibt dadurch die Ventilöffnung frei, bis die Betätigungseinrichtung wieder die Ruheposition erreicht hat.

Ist jedoch das piezoelektrische Material derart angeordnet, daß die bevorzugte Auslenkungsrichtung senkrecht zur Längsachse der Ventilöffnung liegt, so ist hier die Ruhestellung die unausgelenkte Stellung der Betätigungseinrichtung. Eine schnelle Auslenkung der Betätigungseinrichtung in Richtung der bevorzugten Auslenkungsrichtung hat eine Kontraktion parallel zur Längsachse der Ventilöffnung zur Folge, wodurch auch hier der Ventilkörper als träge Masse in seiner Ruheposition verharrt und die Ventilöffnung freigibt.

Dieser Betriebsmodus als Trägheitsschalter ermöglicht minimale Pulsbreiten von unter 100  $\mu$ sec. Der Vorteil dieser Betriebsart liegt außerdem in der druckunabhängigen Ventilcharakteristik, weil die Öffnungs- und Schließzeiten des Mikroventils nur durch die dynamischen Eigenschaften der Betätigungseinrichtung bestimmt werden. Für diese Betriebsart werden hochdynamische piezoelektrische Betätigungseinrichtungen eingesetzt, die im Mikrosekundenbereich noch Auslenkungen von 10 nm erreichen. Aufgrund der äußerst geringen Öffnungszeiten sind dementsprechend die Durchflüsse sehr klein, wodurch sich dieses Mikroventil zur ultrafeinen Gasdosierung eignet.

Da in der Pneumatik und Hydraulik die starke Tendenz besteht, die aufwendigen und nur eingeschränkt busfähigen stetigen Ventile durch schnellschaltende unstetige Ventile wie das erfindungsgemäße Mikroventil zu ersetzen, die eine

quasistatische Regelung von Druck oder Durchfluß ermöglichen, sind Anwendungen als Vorsteuer- und Regelventile in der Pneumatik bevorzugt.

Ein weiteres besonderes bevorzugtes Anwendungsgebiet ist die Tropfenablösung an Kapillaren. In diesem Fall wird das Mikroventil in die Kapillare eingebaut oder an diese angeschlossen. Die Tropfenablösung kommt durch die Vibration und/oder die nachgeführte Flüssigkeitsmenge zustande.

Vorzugsweise weist die Einlaßkammer eine an den Platzbedarf für die Auslenkung der Betätigungseinrichtung angepaßte Ventilkammer auf, an die sich ein konzentrisch zur Ventilöffnung angeordneter Einlaßkanal anschließt. Vorteilhafterweise erstreckt sich der Einlaßkanal in den Bereich des Ventilkörpers, der in Schließstellung in den Einlaßkanal hineinragt. Der Einlaßkanal übernimmt eine Führungsfunktion für den Ventilkörper, so daß dieser beim Öffnungsvorgang nicht unkontrolliert seitlich ausweichen kann, was zu einer Verzögerung während des Schließvorgangs führen würde. Der Durchmesser des Einlaßkanals ist geringfügig größer als der Durchmesser des Ventilkörpers, so daß der Ventilkörper nicht durch irgendwelche Reibungen abgebremst wird.

Gemäß einer ersten Ausführungsform weist die Betätigungseinrichtung einen Stapel piezoelektrischer Schichten auf, die senkrecht oder parallel zur Längsachse der Ventilöffnung angeordnet sind. Der Stapel wird vorteilhaft unter Vorspannung gehalten, beispielsweise durch ein oberhalb des Stapels angebrachtes elastisches Element, zum Beispiel eine Blattfeder.

Die zweite Ausführungsform der Betätigungseinrichtung sieht eine piezoelektrische Scheibe vor, in deren Zentrum die Ventilöffnung angeordnet ist. Von beiden Betätigungseinrichtungen ist der piezoelektrische Stapel bevorzugt, weil der auf den Ventilkörper übertragene Impuls größer ist als bei einer piezoelektrischen Scheibe.

Die Kontaktierung wird vorzugsweise über zwei elektrisch leitende Folien, beispielsweise aus Metall oder Kunststoff hergestellt, die zwischen dem Gehäuse und dem piezoelektrischen Stapel eingefügt sind.

Die elektrischen Kontakte sind an eine Spannungsversorgungs- und Steuereinrichtung angeschlossen, mit der die gewünschte Spannungsamplitude, Pulsbreite und Pulsfrequenz eingestellt werden kann.

Die Betätigungseinrichtung ist ausgangsseitig über eine gasdichte Schicht im Gehäuse befestigt. Als geeignet hat sich beispielsweise elastisches Epoxydharz herausgestellt.

Um den Einsatz für aggressive Medien zu ermöglichen, kann die Betätigungseinrichtung zusätzlich beschichtet sein.

Vorzugsweise ist der Ventilkörper ein Kegel oder eine Kugel. Der Kugeldurchmesser liegt vorteilhafterweise beim 2,5- bis 3,5-fachen, insbesondere beim 3-fachen des Durchmessers der Ventilöffnung. Es hat sich gezeigt, daß diese Abmessungen für einen besonders dichten Verschluß der Ventilöffnung geeignet sind.

Dies kann weiterhin dadurch verbessert werden, daß der Ventilsitz scharfkantig ausgebildet ist, so daß die Kugel auf einer Ringkante in Schließstellung aufliegt. Eine scharfe Kante als Ventilsitz hat den Vorteil, daß sich eventuell im Fluid vorhandene Staubkörner nicht so leicht absetzen können und beim Schließen durch die Ventilkugel abgestrichen werden.

Der Ventilsitz wird vorteilhaft durch den Rand der in das piezoelektrische Material eingebrachten Bohrung gebildet und gegebenenfalls durch eine zusätzliche Beschichtung aus Keramik, Metall oder Edelstein, wie Saphir, verstärkt.



Nach einer anderen Ausführung wird der Ventilsitz durch ein dünnes aufgesetztes Plättchen, beispielsweise aus Silizium, Edelstein oder einem glasfaserverstärktem Kunststoff, das eine präzise Bohrung aufweist, gebildet. Nach einer weiteren Ausführung bildet ein auf die Betätigungseinrichtung aufgesetzter oder in diese eingelassener Ring, vorteilhaft aus einem der zuvor erwähnten Materialien, den Ventilsitz.

Beispielhafte Ausführungsformen werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1a,1b einen Vertikalschnitt durch ein Mikroventil gemäß einer ersten Ausführungsform im geschlossenen und im geöffneten Zustand,

Fig. 2 einen Horizontalschnitt durch das in der Fig. 1b gezeigte Mikroventil zusammen mit der zweiten Gehäusehälfte 1b,

Fig. 3 einen Vertikalschnitt durch ein Mikroventil mit einer piezoelektrischen Scheibe und

Fig. 4 ein Diagramm zur Veranschaulichung des Schaltverhaltens eines Mikroventils.

In den Fig. 1a und 1b ist ein Mikroventil perspektivisch, teilweise im Vertikalschnitt dargestellt, das aus zwei Gehäusehälften 1a und 1b besteht, wobei die Gehäusehälfte 1b in dieser Darstellung nicht zu sehen ist. Das Ventilgehäuse kann beispielsweise aus Polycarbonat bestehen und beispielsweise die Abmessungen 25 mm x 15 mm x 5 mm aufweisen.

Die Gehäusehälfte 1a weist jeweils die Hälfte der Einlaßkammer 2 und die Hälfte des Auslaßkanals 3 auf. Entsprechende Ausformungen finden sich im zweiten Gehäuseteil 1b, so daß nach dem Zusammenfügen der beiden Gehäusehälften 1a und 1b geschlossene Kammern bzw. Kanäle gebildet werden.

Aufgrund der vertikalen Einbaulage befindet sich im oberen Bereich die Einlaßkammer 2, die durch einen Einlaßkanal 2a und eine Ventilkammer 2b gebildet wird und im unteren Bereich der Auslaßkanal 3. Die Trennwand 9 zwischen der Einlaßkammer 2 und dem Auslaßkanal 3 wird durch die Betätigungseinrichtung 10 gebildet, die in der hier gezeigten Ausführungsform aus einem Stapel 11 von fünf piezoelektrischen Schichten 12a-e gebildet wird. Die einzelnen Schichten 12a-e können beispielsweise aus 40 µm dicken Keramiksichten bestehen, zwischen denen Dünnschichtelektroden 19a-d angeordnet sind. Die Gesamtabmessung eines solchen Stapels 11 kann beispielsweise 15 mm x 10 mm x 2,5 mm betragen. Die maximale Auslenkung kann bei einer solchen Ausführungsform bei 2,5 µm bei 90 Volt Ansteuerspannung liegen.

In den Stapel 11 ist mittig eine Ventilöffnung beispielsweise durch Bohren eingebracht. Der Einlaßkanal 2a und der Auslaßkanal 3 sind konzentrisch zur Ventilöffnung 4 angeordnet, so daß die Längsachse 5 der Ventilöffnung 4 sich mit den Längsachsen von Einlaß- und Auslaßkanal deckt. Die Ventilöffnung ist senkrecht in den Stapel 11 eingebracht, so daß sich der Stapel 11 in Richtung der Längsachse 5 bei elektrischer Ansteuerung ausdehnt bzw. zusammenzieht.

Der Stapel 11 ist im Gehäuse ausgangsseitig, d.h. im Bereich des Auslaßkanals 3 über eine gasdichte Schicht 7 befestigt. Da der Stapel 11 nicht nur den Ventilkörper 6 betätigt, sondern das Ventil als funktionales Teil darstellt, weil das Fluid durch den Stapel hindurchströmt, muß der Stapel 11 einerseits fest und gasdicht im Gehäuse eingebaut sein, er muß sich aber andererseits noch bewegen können, um einen Impuls auf die Kugel übertragen zu können.

Darüber hinaus darf die Befestigung möglichst keine mechanischen Verspannungen im Stapel 11 hervorrufen, da diese die Bewegung behindern und außerdem die spröde Keramik zum Brechen bringen kann. Als besonders geeignet hat sich eine Schicht 7 aus elastischem Epoxydharz herausgestellt, die eine gasdichte und stabile Verbindung gewährleistet und die Ausdehnung der Keramik nahezu kaum beeinträchtigt.

Der Rand der Ventilöffnung 4 bildet den Ventilsitz 18, der gegebenenfalls noch durch eine Auflage aus Metall, Keramik oder Saphir verstärkt sein kann. Die Ventilöffnung wird durch den Ventilkörper 6 in Form einer Kugel verschlossen. Die Kugel kann beispielsweise eine Rubinkugel mit einem Durchmesser von 1,5 mm sein, während die Ventilöffnung 4 einen Durchmesser von 0,5 mm aufweist.

Der Einlaßkanal 2a erstreckt sich bis in den Bereich der Kugel 6 und besitzt einen geringfügig größeren Durchmesser als der Ventilkörper 6. In der Fig. 1a verschließt der Ventilkörper 6 die Ventilöffnung 4 und unterbricht somit den Fluidstrom 8.

Wenn der Stapel 11 aus piezoelektrischen Schichten 12a-e elektrisch angesteuert wird, dehnt sich der Stapel 11 schlagartig in vertikaler Richtung nach oben aus, wodurch dem Ventilkörper 6 ein Impuls übertragen wird, der ihn entgegen der Fluidströmung 8 in den Eintrittskanal 2a schießt (s. Fig. 1b). Die minimale Kugelgeschwindigkeit liegt bei diesem Ausführungsbeispiel bei  $2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s. Einerseits aufgrund der vertikalen Vorzugsrichtung und andererseits aufgrund der Führungseigenschaften des Einlaßkanals 2a kann die Kugel 6 seitlich nicht ausweichen. Der piezoelektrische Stapel 11 wird nach der Auslenkung - wie im Zusammenhang mit Fig. 4 erläutert wird - sofort kontrahiert, wodurch die Ventilöffnung 4 kurzzeitig freigegeben wird und das Fluid durch den Auslaßkanal 3 austreten kann. Durch die Fluidströmung 8 wird die Kugel 6 in Richtung Ventilöffnung 4 zurückgedrückt und anschließend auf den Ventilsitz 18 gepreßt, wie dies in der Fig. 1a dargestellt ist.

Die Impulsdauer im Impulsbetrieb beträgt 0,1 ms bis 10 ms, während die Pulsdauer im Trägheitsbetrieb unter 100  $\mu$ s liegt. Die elektrische Ansteuerung erfolgt in Form von Pulsweiten- und Amplitudenmodulation. Dieses Ventil ist aufgrund der Bemessung des Kunststoffgehäuses für einen maximalen Betriebsdruck von 10 bar ausgelegt.

In der Fig. 2 ist ein Schnitt durch die Linie II-II durch das in Fig. 1b gezeigte Mikroventil dargestellt, wobei zusätzlich noch die Gehäusehälfte 1b zu sehen ist. Beide Gehäusehälften 1a, 1b können beispielsweise durch Laserschweißen miteinander verbunden werden. In dem übertrieben dargestellten seitlichen Zwischenraum zwischen dem Stapel 11 und der Gehäuseinnenfläche sind zwei Metallfolien 13a, 13b zur Kontaktierung der piezoelektrischen Schichten 12a-12e angeordnet. Die Kunststofffolien 13a, b werden durch die Fügelinie 20 nach außen geführt und sind an eine Spannungsversorgungs- und Steuereinrichtung 17 angeschlossen.

In der Fig. 3 ist eine weitere Ausführungsform eines Mikroventils dargestellt. Anstelle eines Stapels von piezoelektrischen Schichten ist eine piezoelektrische Scheibe 14 vorgesehen, die die Betätigungseinrichtung 10 sowie die Trennwand 9 bildet. Auch hier ist das Gehäuse zweiteilig aufgebaut und besteht aus den Gehäusehälften 1a und 1b. Die Fügelinie 20 verläuft bei dieser Ausführungsform nicht vertikal, sondern horizontal. Die piezoelektrische Scheibe 14 ist zwischen den beiden Gehäusehälften über O-Ringe 15a, 15b gasdicht eingespannt. Die Ventilöffnung 4 ist mittig in die Scheibe 14 eingebracht und wird von der Ventilkugel 6 verschlossen. Bei elektrischer Ansteuerung wölbt sich die piezoelektrische Scheibe 14 nach oben und schleudert die Ventilkugel 6 in Richtung Einlaßkanal 2a. Die maximale Kugelgeschwindigkeit ist bei dieser Ausführungsform niedriger als beim Einsatz eines piezoelektrischen Stapel 11 und liegt beispielsweise bei  $10^{-4}$  m/s. Der auf die Kugel übertragene Impuls ist somit ebenfalls geringer, so daß die Ventildynamik etwas ungünstiger ist als bei der Stapel-Ausführung. Zur Führung der Ventilkugel 6 kann ein Kugelhäfig vorgesehen sein, der auf der piezoelektrischen Scheibe 14 angeordnet sein

kann, wenn der Abstand zwischen Scheibenoberfläche und Mündung des Eintrittskanals 2a deutlich größer als der Radius der Ventilkugel 6 sein sollte. Bei den gezeigten Ausführungsformen kann im Einlaßkanal 2a eine Einrichtung, wie z.B. ein Anschlagelement oder ein Vorsprung vorgesehen sein, um die Kugelbewegung nach oben zu begrenzen, ohne daß die Kugel 6 sich festklemmen kann. Damit soll verhindert werden, daß die Kugel bei ungünstiger Einbaulage des Mikroventils im Einlaßsystem verlorenght.

In der Fig. 4 ist die Auslenkung eines piezoelektrischen Stapels 11 dargestellt. Die Kurve I zeigt den Verlauf bis zur maximalen Auslenkung, die bei  $2,5\text{ }\mu\text{m}$  liegt. Der steile Anstieg biegt im oberen Drittel in eine Horizontale ab, wobei die Zeit zwischen Beginn und Ende der Auslenkung bei ca. 10 ms liegt. Für den praktischen Gebrauch wird jedoch nicht die maximale Auslenkung gewünscht, sondern die Kontraktion des piezoelektrischen Stapels 11 wird in dem Bereich der Kurve eingeleitet, wo die größte Steigung der Kurve auftritt. Die Kurve II stellt die bevorzugte Auslenkungskurve für den Piezoaktor dar. Dadurch wird gewährleistet, daß dem Ventilkörper der maximal mögliche Impuls übertragen wird.

Vorzugsweise wird mit einem Spannungsoffset von 80 Volt und einer Steuerspannung von 0 bis 10 Volt gearbeitet.

**Bezugszeichen**

1a,b	Gehäuseteil
2	Einlaßkammer
2a	Einlaßkanal
2b	Ventilkammer
3	Auslaßkanal
4	Ventilöffnung
5	Längsachse der Ventilöffnung
6	Ventilkörper
7	gasdichte Schicht
8	Fluidstrom
9	Trennwand
10	Betätigungseinrichtung
11	piezoelektrischer Stapel
12a-e	piezoelektrische Schicht
13a,b	Metallfolie
14	piezoelektrische Scheibe
15a,b	O-Ringe
16	Kugelkäfing
17	Spannungsversorgungs- und Steuereinrichtung
18	Ventilsitz
19a-d	Dünnschichtelektrode
20	Fügelinie

### Patentansprüche

1. Mikroventil mit zwei in einem Gehäuse angeordneten Kammern (Einlaß- und Auslaßkammer), die unterschiedlichen Druck aufweisen und durch eine Trennwand voneinander getrennt sind, einer in der Trennwand vorgesehenen Ventilöffnung, deren Rand einen Ventilsitz bildet, einen freibeweglichen Ventilkörper zum Verschließen der Ventilöffnung und einer Betätigungseinrichtung, **dadurch gekennzeichnet**,

daß die Betätigungseinrichtung (10) piezoelektrisches Material aufweist und die Trennwand (9) bildet oder in die Trennwand (9) integriert ist, wobei die Betätigungseinrichtung (10) die Ventilöffnung (4) aufweist und in Richtung der Längsachse (5) der Ventilöffnung (4) auslenkbar ist.

2. Mikroventil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einlaßkammer (2) eine an die Auslenkung der Betätigungseinrichtung (10) angepaßte Ventilkammer (2b) aufweist, an die sich ein konzentrisch zur Ventilöffnung (4) angeordneter Einlaßkanal (2a) anschließt.
3. Mikroventil nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Einlaßkanal (2a) sich in den Bereich des Ventilkörpers (6) erstreckt, der in Schließstellung in den Einlaßkanal (2a) hineinragt.
4. Mikroventil nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Betätigungseinrichtung (10) einen Stapel (11) piezoelektrischer Schichten (12a-e) aufweist, die senkrecht zur Längsachse (5) der Ventilöffnung (4) angeordnet sind.
5. Mikroventil nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Betätigungseinrichtung (10) eine piezoelektrische Scheibe (14) aufweist, in deren Zentrum die Ventilöffnung (4) angeordnet ist.





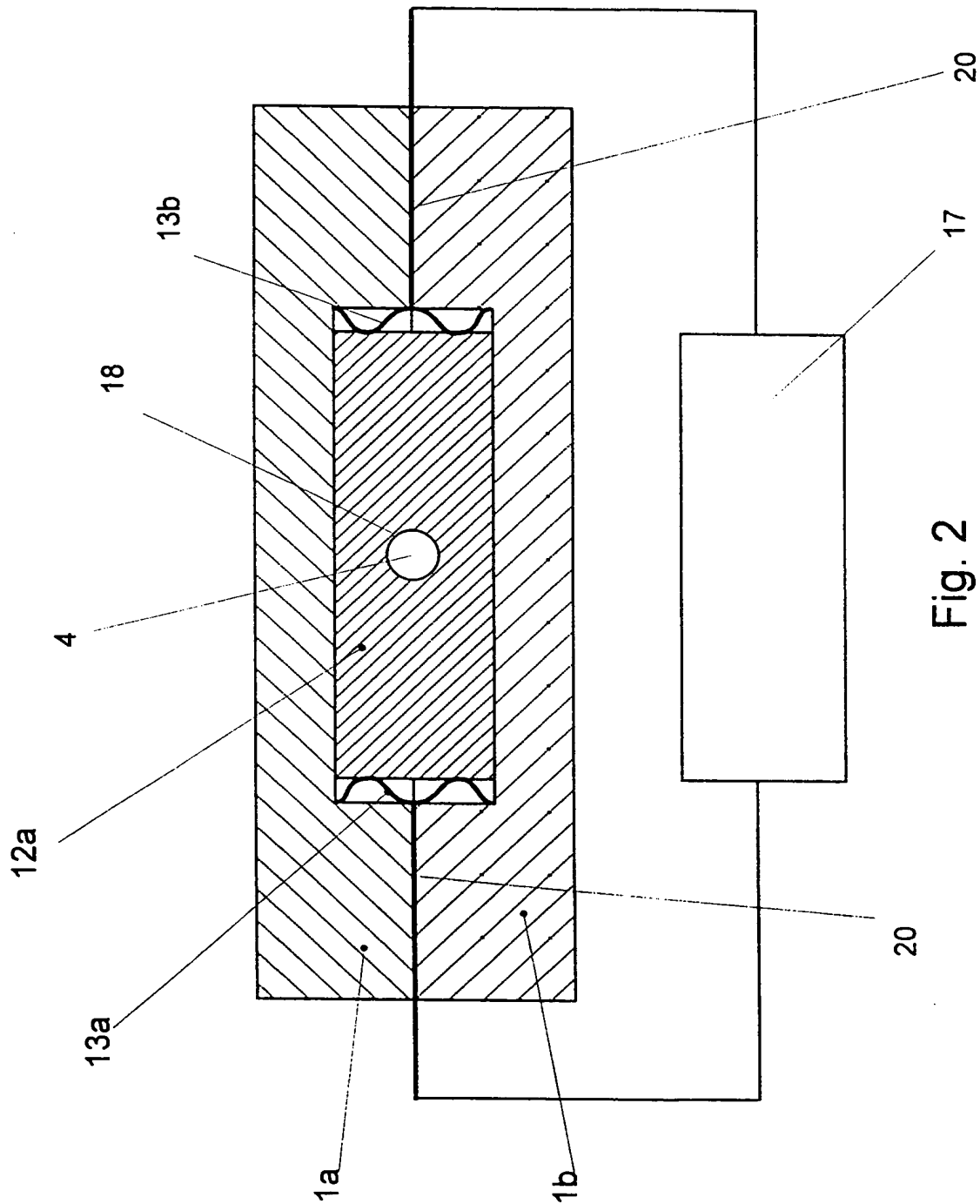


Fig. 2

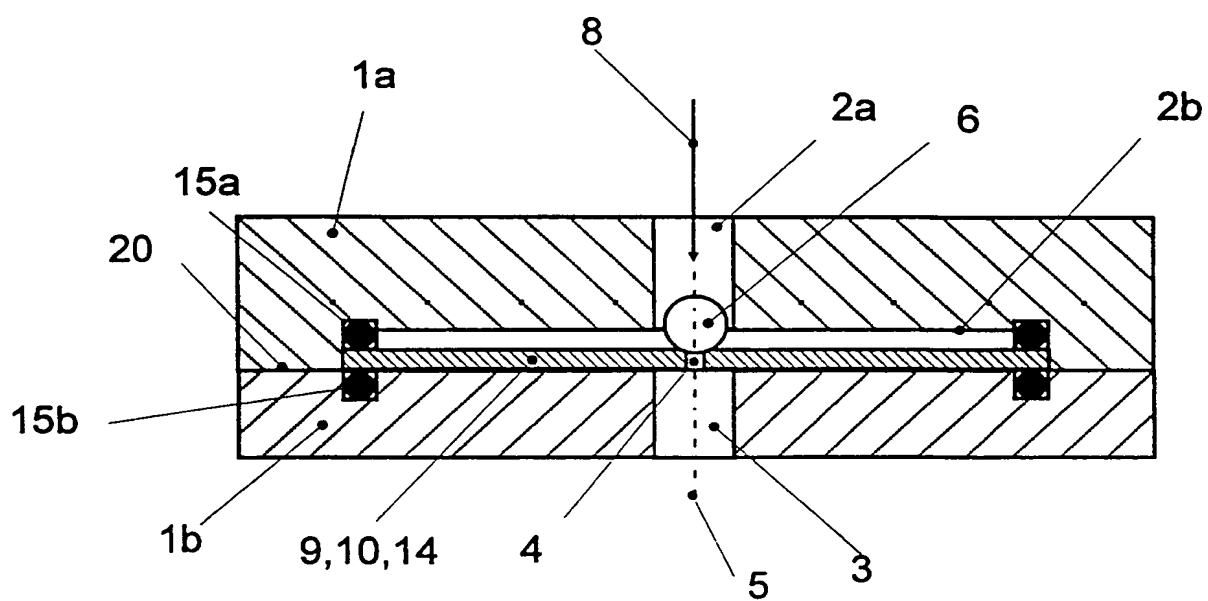


Fig. 3

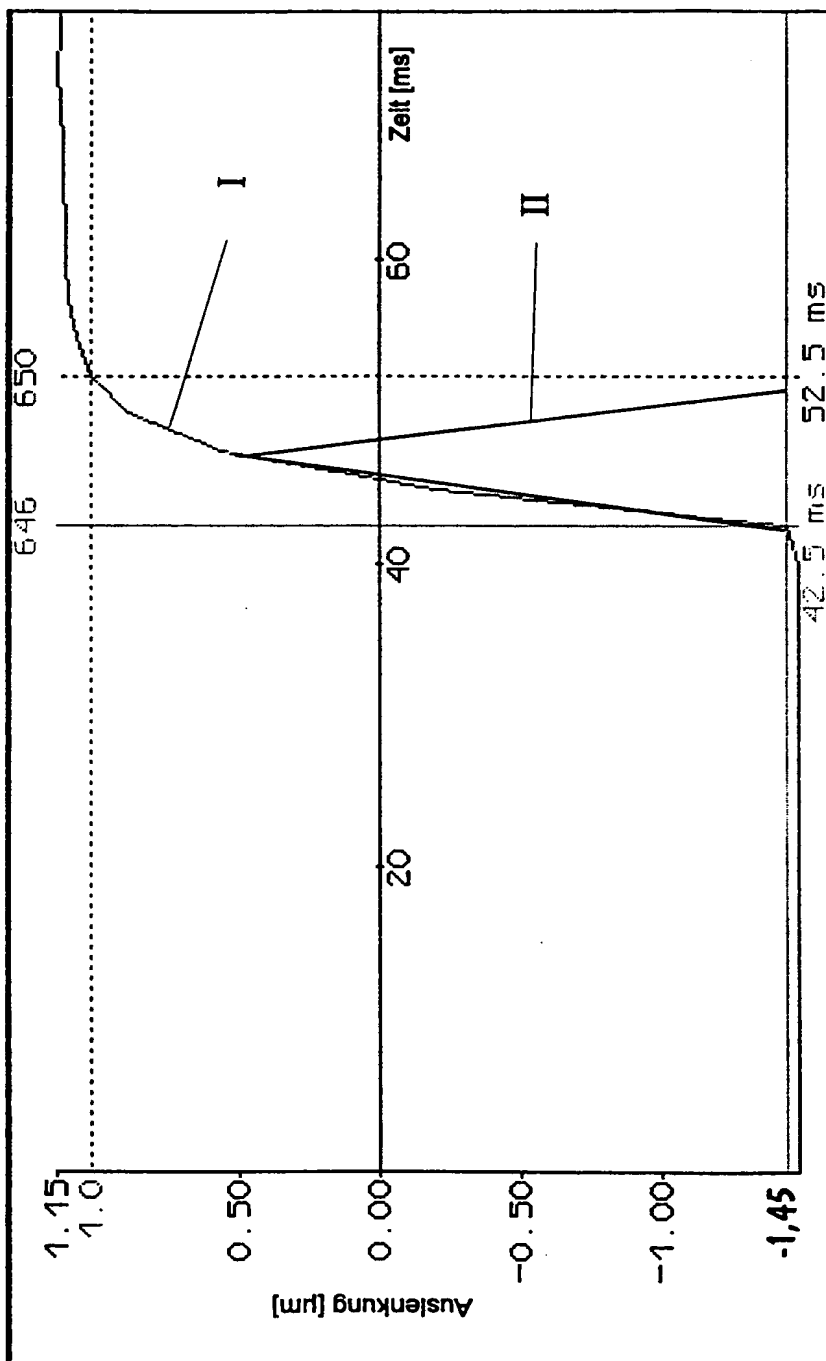


Fig. 4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP 98/05966

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 F16K31/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 F16K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 40 21 580 C (DANFOSS A/S) 11 April 1991 see column 4, line 40 - column 5, line 6; figures 3,4	1-3
A	EP 0 117 195 A (MECILEC SA) 29 August 1984 see page 3, line 31 - page 4, line 5; figure	1,2,9,10
A	DE 24 02 085 A (PHILIPS NV) 8 August 1974 cited in the application see page 8 - page 9; figure 3	1,2,4

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 January 1999

Date of mailing of the international search report

29/01/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Christensen, J

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

Inter Application No

PCT/ 98/05966

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4021580 C	11-04-1991	CA 2042919 A,C DK 116291 A,B, JP 2093290 C JP 6017964 A JP 8006838 B US 5085400 A	07-01-1992 07-01-1992 18-09-1996 25-01-1994 29-01-1996 04-02-1992
EP 0117195 A	29-08-1984	FR 2540962 A	17-08-1984
DE 2402085 A	08-08-1974	NL 7301617 A BE 810575 A CH 569216 A FR 2216502 A GB 1410312 A JP 49111226 A	08-08-1974 05-08-1974 14-11-1975 30-08-1974 15-10-1975 23-10-1974

# INTERNATIONAL RESEARCH REPORT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/05966

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 F16K31/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Researchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 F16K

Researchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 40 21 580 C (DANFOSS A/S) 11. April 1991 siehe Spalte 4, Zeile 40 - Spalte 5, Zeile 6; Abbildungen 3,4	1-3
A	EP 0 117 195 A (MECILEC SA) 29. August 1984 siehe Seite 3, Zeile 31 - Seite 4, Zeile 5; Abbildung	1,2,9,10
A	DE 24 02 085 A (PHILIPS NV) 8. August 1974 in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 8 - Seite 9; Abbildung 3	1,2,4



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22. Januar 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

29/01/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Christensen, J

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zu der Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/98/05966

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4021580 C	11-04-1991	CA 2042919 A,C	07-01-1992
		DK 116291 A,B,	07-01-1992
		JP 2093290 C	18-09-1996
		JP 6017964 A	25-01-1994
		JP 8006838 B	29-01-1996
		US 5085400 A	04-02-1992
EP 0117195 A	29-08-1984	FR 2540962 A	17-08-1984
DE 2402085 A	08-08-1974	NL 7301617 A	08-08-1974
		BE 810575 A	05-08-1974
		CH 569216 A	14-11-1975
		FR 2216502 A	30-08-1974
		GB 1410312 A	15-10-1975
		JP 49111226 A	23-10-1974

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**